

## Caracterización estadística de algunos suelos representativos de Andalucía

### *I. Entisols de marismas del Guadalquivir*

D. DE LA ROSA, J. M. MURILLO y M. CHAVES

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuatro (C.S.I.C.), Sevilla.

**INTRODUCCIÓN.** — La caracterización de suelos incluye análisis morfológico, físico, químico y mineralógico, así como las inferencias necesarias, en orden a su posterior clasificación y evaluación. En la actualidad, se da especial importancia a la información cuantitativa sobre los suelos, ya que constituye los principales criterios de diagnóstico en los modernos sistemas de clasificación (BUOL et al., 1973). A partir de un número suficiente de datos, se puede realizar una interpretación estadística para sintetizar perfiles típicos de conjuntos de suelos representativos de ciertas zonas (CALHOUN and CARLISLE, 1974; DE LA ROSA, 1979 a). Este proceso de síntesis o caracterización estadística establece los valores medios y variabilidad de propiedades edáficas cuantitativas, constituyendo un importante punto de partida para futuras caracterizaciones y correlaciones de suelos.

El presente trabajo forma parte de una serie de ellos que tienen como principal objetivo presentar la tendencia central y dispersión estadísticas de seleccionadas propiedades de suelos representativos de Andalucía. La información de partida proviene de estudios de reconocimiento previamente realizados, referida a poblaciones, más o menos numerosas, de individuos suelos que han sido clasificados en similares categorías del sistema « Soil Taxonomy » (Soil Survey Staff, 1975). En este trabajo se analiza un conjunto de propiedades químicas correspondientes a suelos naturales de las marismas del Guadalquivir.

**MATERIAL Y METODOS.** — Se seleccionaron cinco perfiles de suelos que generaron 30 muestras diferentes, en cada una de las cuales se determinaron las siguientes características: espesor del horizonte correspondiente; pH; contenidos en materia orgánica (MO), carbonatos y yeso; contenidos en arena gruesa (2-0.2 mm), arena fina (0.2-0.02 mm), limo (0.02-0.002 mm) y arcilla

(<0.002 mm); capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes cambiables ( $Mg^{++}$ ,  $Na^{+}$  y  $K^{+}$ ); conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE); aniones soluble ( $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{--}$  y  $CO_3H^{-}$ ); cationes solubles ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^{+}$  y  $K^{+}$ ); porcentaje de sales totales; porcentaje de sodio intercambiable (PSI); relación de adsorción de sodio (RAS); y relación de sodio intercambiable ( $SI/(CIC-SI)$ ).

En la Fig. 1 se presenta un mapa esquemático con la localización aproximada de los suelos seleccionados. Las razones de esta localización responden a los objetivos del estudio de procedencia (MURILLO, 1976), donde se investiga relaciones suelo-planta en diversas áreas de las marismas del Guadalquivir (SW de España). Los perfiles corresponden a suelos naturales, no recuperados, desarrollados sobre material holocénico tanto de zonas de «vetas» como de «caños» y «lucios». De acuerdo con el sistema «Soil Taxonomy» (Soil Survey Staff, 1975), todos los suelos seleccionados se clasifican en el orden Entisols,

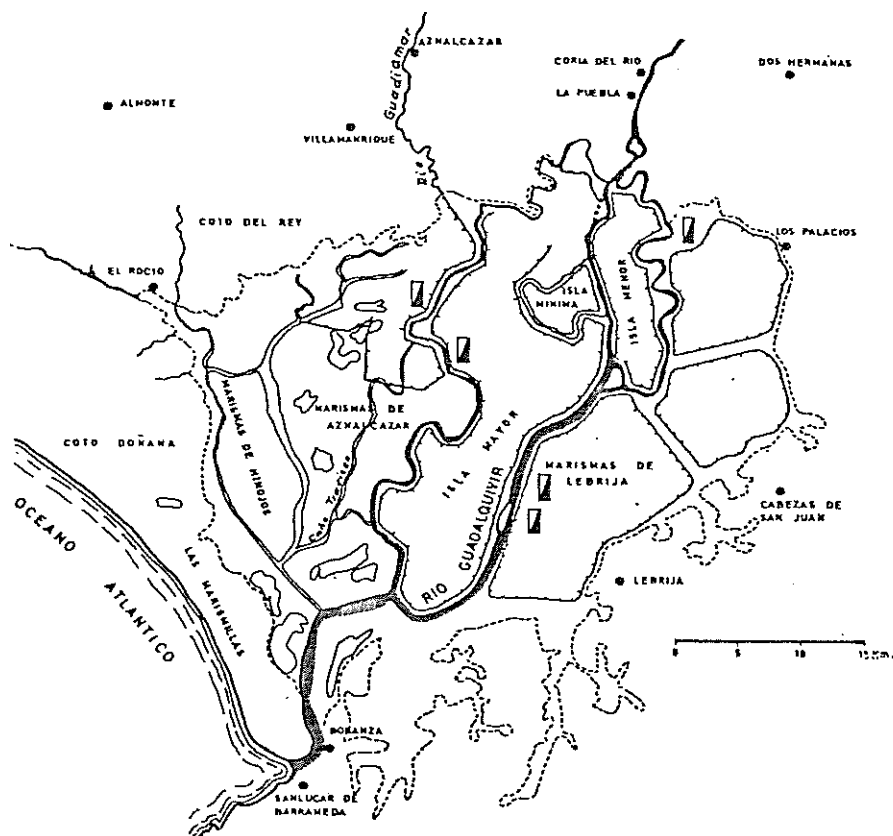


FIG. 1. — Localización de los perfiles seleccionados. La línea discontinua delimita la zona de marismas del Guadalquivir (140.000 ha aproximadamente).

y pueden corresponder al subgrupo Vertic Fluvaquents aunque habría que comprobar algunos criterios de diagnóstico no recogidos en este estudio.

Para las determinaciones químicas consideradas, siguiendo procedimientos similares a los descritos por el Soil Survey Staff (1972), se desarrollaron los siguientes métodos analíticos: pH en agua (pasta saturada) mediante electrodo de vidrio; materia orgánica por el método de Walkley-Black; carbonatos por volumetría de gas; yeso por precipitación con acetona; análisis granulométrico por el método del hidrómetro; capacidad de intercambio catiónico y cationes cambiables utilizando como agente de desplazamiento acetato sódico y amónico respectivamente, y aplicando la técnica de doble lixiviado (PIPER, 1950), para corregir los valores de magnesio; conductividad eléctrica a 25°C de temperatura, y cationes y aniones solubles a partir del extracto de pasta saturada.

En el proceso de síntesis realizado, se calcularon los siguientes parámetros estadísticos: número de observaciones, rango (valores mínimo y máximo), media y coeficiente de variación.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN.** — En la Tabla 1 se presenta el número de observaciones y rango de las variables edáficas analizadas. Las Figs. 2 y 3 muestran a su vez la distribución de medias y coeficientes de variación. El eje vertical de las gráficas se dividió de acuerdo con el espesor medio, expresado en cm, de los horizontes correspondientes a los suelos seleccionados (A<sub>1</sub>: 0-10; C<sub>1</sub>: 10-30; C<sub>2</sub>: 30-60; C<sub>3</sub>: 60-85; C<sub>4</sub>: 85-120; y C<sub>5</sub>: 120-150). Los coeficientes de variación, expresados en porcentaje, están situados junto a los puntos que representan los valores medios respectivos. Con relación al espesor medio de los horizontes, los coeficientes de variación ofrecieron los siguientes valores: 24, 55, 18, 19, 78 y 6% respectivamente. De las 24 propiedades químicas analizadas, contenidos en yeso, cloruro y sodio soluble son las más variables, mientras que pH es la que presenta menor dispersión de valores. Con relación a las sustancias solubles, es necesario destacar que la variabilidad analizada se refiere exclusivamente a la espacial, y no a la estacional, ya que todos los perfiles fueron muestreados en períodos de sequía. Para la mayoría de propiedades analizadas, la variabilidad disminuye con la profundidad, siendo el coeficiente de variación medio para el conjunto de propiedades de 60% en el horizonte A<sub>1</sub>, y solamente de 31% en el horizonte C<sub>5</sub>.

De acuerdo con los resultados de la síntesis realizada (Figs. 2 y 3), el perfil típico del conjunto de suelos seleccionados presenta las siguientes características químicas: Un horizonte superfi-

Tabla 1. — Número de observaciones y rango de las variables edafológicas analizadas.

Variable	Horizonte											
	A <sub>1</sub>		C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>		C <sub>4</sub>		C <sub>5</sub>	
	N	Rango	N	Rango	N	Rango	N	Rango	N	Rango	N	Rango
Espesor, cm	5	6-8	5	9-36	5	25-40	5	18-30	5	15-85	3	35-40
pH	5	7.4-7.6	5	7.3-7.9	5	7.3-7.8	5	7.3-7.9	5	7.3-7.7	4	7.3-7.5
Materia orgánica, %	5	1.4-5.0	5	1.0-1.5	3	0.7-1.6	3	0.7-1.3	4	0.9-1.6	5	1.0-2.9
Carbonatos, %	5	12.9-24.3	5	14.2-29.0	5	11.8-30.4	5	11.4-32.2	5	16.7-30.4	5	18.1-30.5
Yeso, %	4	0.1-0.3	4	0.1-0.3	4	0.1-0.7	4	0.1-1.1	4	0.1-0.4	4	0.1-0.4
Análisis granulométrico, %:												
Arena gruesa	5	0.2-0.6	5	0.2-0.7	5	0.1-0.8	5	0.1-0.6	4	0.1-0.3	5	0.1-0.6
Arena fina	5	0.7-2.7	5	0.5-2.7	5	0.6-4.2	5	0.7-5.5	5	1.2-6.0	5	0.7-6.7
Limo	5	31.1-45.8	5	31.0-38.3	5	32.2-39.7	5	23.7-42.1	5	29.5-47.0	5	30.1-55.2
Arcilla	5	50.0-65.3	5	60.5-67.0	5	60.8-65.7	5	60.5-73.4	5	50.0-63.5	5	36.4-66.6
Cambio catiónico, meq/100 g:												
Capacidad total	4	23.0-35.5	4	26.3-31.4	5	25.0-36.0	4	23.1-32.5	4	20.9-34.0	4	20.1-32.5
Magnesio	5	3.5-10.0	5	5.0-10.0	5	4.9-11.0	5	4.7-11.5	4	4.0-13.0	4	3.7-12.3
Sodio	5	1.5-24.3	5	4.7-24.3	5	8.0-18.6	5	8.5-24.0	5	8.5-24.5	4	8.0-14.0
Potasio	5	1.4-1.9	5	1.2-2.0	5	1.4-1.7	4	1.0-1.6	5	0.9-1.3	5	0.9-1.2
Conductividad eléctrica, umicos/cm	5	7.2-43.9	5	11.0-43.9	5	17.0-49.0	5	23.8-55.6	5	26.8-66.1	4	27.8-52.4
Determinaciones en el extracto, meq/l:												
Cloruro	5	56.3-581.9	5	104.9-581.8	5	123.4-612.0	5	214.8-654.5	5	248.0-958.0	4	260.0-580.0
Sulfato	5	8.3-43.3	5	8.0-43.3	5	20.0-88.1	5	53.8-84.9	5	45.2-100.0	4	45.8-65.5
Bicarbonato	5	3.6-16.9	5	3.8-7.5	5	3.6-5.8	5	2.7-8.4	5	2.6-7.0	4	2.5-8.0
Calcio	5	15.0-59.0	5	13.0-46.0	5	11.9-25.0	5	24.0-71.5	5	27.0-80.0	4	26.4-62.7
Magnesio	5	16.4-124.0	5	20.7-124.0	5	28.2-128.0	5	51.8-133.8	5	52.0-204.9	4	53.6-118.0
Sodio	5	50.0-467.3	5	80.0-467.3	5	94.0-540.0	5	210.0-550.0	5	197.9-790.9	4	226.7-480.0
Potasio	5	0.7-4.2	5	1.1-4.2	5	1.1-4.0	5	1.8-4.2	5	2.2-4.9	4	2.8-5.0
Salés totales, %	5	0.4-2.4	5	0.6-2.4	5	0.8-2.7	5	1.9-2.3	5	1.5-3.8	4	1.8-2.9
PSI, %	5	6.5-58.5	5	17.9-58.5	5	25.0-51.7	5	30.8-59.3	5	32.8-62.7	4	30.8-58.3
RAS	5	10.6-50.7	5	19.4-50.7	5	21.0-56.9	5	33.8-54.3	5	31.5-66.3	4	36.1-54.9
SI/(CIC-SI)	4	0.1-0.4	4	0.2-0.6	5	0.3-0.6	4	0.4-0.7	4	0.5-1.0	4	0.4-1.4

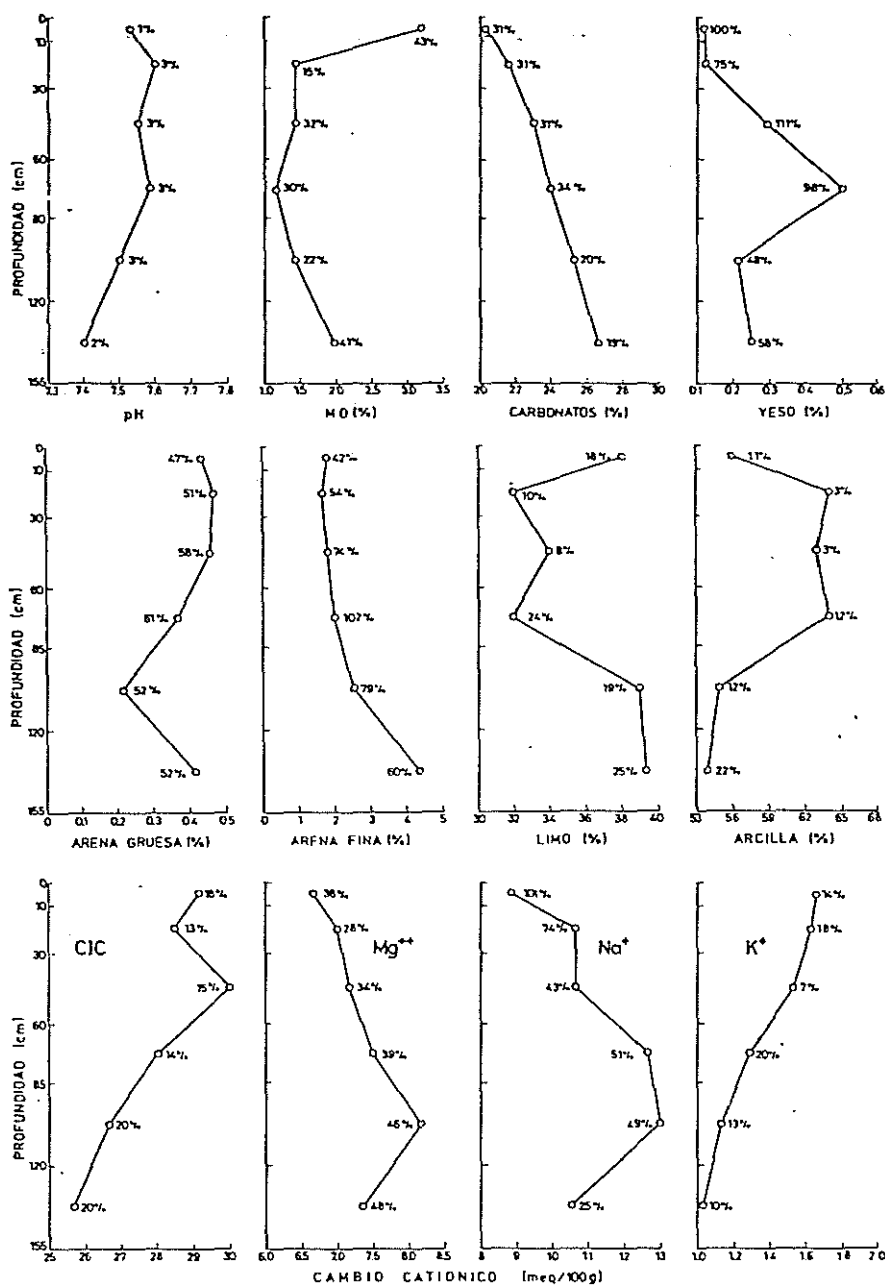


Fig. 2. — Distribución de medias y coeficientes de variación por horizontes.

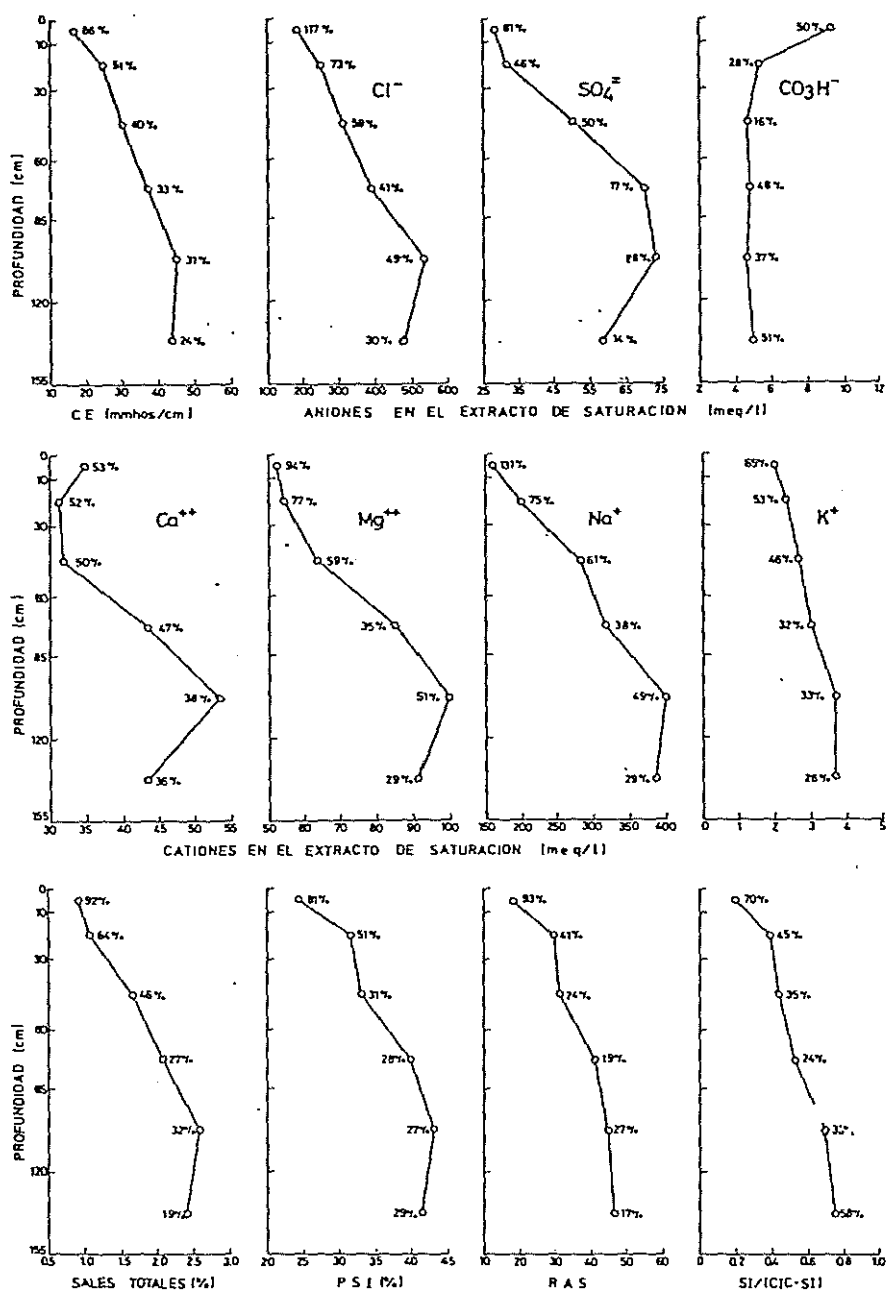


FIG. 3. — Distribución de medias y coeficientes de variación por horizontes.

cial ( $A_1$ ) moderadamente básico ( $pH = 7.5$ ), con elevados contenidos en materia orgánica (3.2%) y carbonatos (20.0%), moderada cantidad de yeso (0.1%), de textura pesada (56.0% de arcilla, 38.1% de limo, 1.9% de arena fina y 0.4% de arena gruesa), moderadamente elevada capacidad de intercambio catiónico (29.0 meq/100 g) con alta saturación en sodio ( $PSI = 24.5$ ), y elevado contenido en sales solubles ( $CE = 17.4$  mmhos/cm; sales totales = 0.8%) dominando el anión cloruro (188.3 meq/l) y el catión sodio (139.5 meq/l); y una serie de horizontes subsuperficiales poco alterados, cuyas diferencias sobresalientes con relación al superficial son menor contenido en materia orgánica y mayores cantidades de carbonatos, yeso y sales solubles. Este perfil medio, a pesar del reducido número de observaciones y la elevada variabilidad establecida para algunas propiedades, puede ser considerado como una aproximación al perfil más representativo de los suelos naturales de las marismas del Guadalquivir.

El perfil típico (Figs. 2 y 3) corresponde a un suelo poco evolucionado, sin apreciable emigración de sustancias en su desarrollo genético, siendo sólo destacable la acumulación de materia orgánica en el horizonte  $A_1$  y el ligero lavado de sales de los horizontes más superficiales. Según los criterios establecidos por GRIM (1968), los valores de capacidad de cambio corresponden a minerales de arcilla de tipo íltico, lo cual está de acuerdo con los resultados de análisis mineralógicos de la fracción coloidal realizados en algunos de los suelos seleccionados para este estudio y en otros similares (CEBAC, 1978; MORENO et al., 1979). De acuerdo con las normas del USSLS (1954), este perfil corresponde a un suelo salino-sódico, cuya conductividad en el extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm y el porcentaje de sodio intercambiable es superior a 15. Debido al elevado contenido en sales solubles ( $> 0.5\%$ ) y alta saturación en sodio del complejo de cambio ( $> 15\%$ ), el suelo sintetizado se clasifica en la Clase 6 - No Arable del sistema de evaluación para riego desarrollado por el BRS (1953). No obstante, la eliminación de estas limitaciones para el uso agrícola mejoraría considerablemente su capacidad productiva, lo cual parece tecnológicamente viable según los resultados obtenidos en algunas zonas recuperadas de las marismas del Guadalquivir. Algunas cualidades de ingeniería de este suelo se pueden evaluar, de forma aproximada (DE LA ROSA, 1979 *b*), en los siguientes términos: índice

de plasticidad de 40 a 50, humedad óptima (Proctor test) de 30 a 35%. Su capacidad de contracción podría ser estimada, por extrapolación de ensayos realizados en suelos similares (CEBAC, 1978), de la siguiente forma: coeficiente de extensibilidad lineal (COLE) superior a 0,06. De acuerdo con los criterios establecidos por el Soil Survey Staff (1971), se trata de un suelo con fuertes limitaciones para la mayoría de obras de ingeniería.

De los resultados del trabajo se concluye el interés y utilidad de esta nueva manera de investigar los suelos a partir de información básica cuantificada. El perfil típico sintetizado presenta una distribución de medias por horizonte que se ajusta al concepto de suelo poco evolucionado, con fuertes limitaciones para el uso agrícola y la mayoría de obras de ingeniería. La generalidad de propiedades analizadas presentan variabilidad elevada en los horizontes superficiales, disminuyendo considerablemente con la profundidad. La mayor variabilidad se debe fundamentalmente a las sustancias solubles.

#### BIBLIOGRAFIA

- BUOL S. W., HOLE F. D. and MCCracken R. J.: Soil genesis and classification. *Iowa St. Univ. Press*, Ames, 10 (1973).
- BUREAU OF RECLAMATION STAFF: Irrigated land use: Land classification. *USDI*, Denver. CO. (1953).
- CALHOUN F. G. and CARLISLE V. W.: Statistical analysis of Spodosols parameters. *Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc.*, 33, 139 (1974).
- Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuatro: Guía de las excursiones científicas. VII Reunión Nacional de Suelos, CEBAC, Sevilla (1978).
- DE LA ROSA D.: Análisis estadístico de diferentes propiedades edáficas: Con especial referencia a seleccionados Entisols, Vertisols y Alfisols de la provincia de Sevilla. *Agrochimica*, 23, 72 (1979a).
- DE LA ROSA D.: Relation of several pedological characteristics to engineering qualities of soil. *J. Soil Sci.*, 30, 793 (1979b).
- GRIM R. E.: *Clay mineralogy*. 2nd ed. McGraw-Hill, New York (1968).
- MORENO F., ARRÚE J. L., MURILLO J. M., PÉREZ J. L. and MARTÍN J.: Mineralogical composition of clay fraction in marsh soils of SW. Spain. *Polish J. Soil Sci.*, (En prensa) (1979).
- MURILLO J. M.: Características salinas de diversas áreas de la marisma del Guadalquivir y su relación con las comunidades vegetales que las pueblan. *Tesis Doct. Univ. de Sevilla*. Sevilla (1976).
- PIPER C. S.: Soil and plant analysis. *Intersci. Pub., Inc.*, New York (1950).
- SALINITY LABORATORY STAFF: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA*, Handbook No. 60. *U.S. Govt. Printing Office*, Washington, D.C. (1954).
- SOIL SURVEY STAFF: Guide for interpreting engineering uses of soils. *USDA, SCS, U.S. Govt. Printing Office*. Washington, D.C. (1971).
- SOIL SURVEY STAFF: Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. *USDA, SCS, Rep. No. 1 U.S. Govt. Printing Office*, Washington, D.C. (1972).
- SOIL SURVEY STAFF: Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *USDA, SCS, Handbook No. 436. U.S. Govt. Printing Office*, Washington, D.C. (1975).



**RESUMEN.** — Se lleva a cabo un análisis estadístico para determinar la tendencia central y variabilidad de 24 propiedades químicas de suelos naturales de la marismas del Guadalquivir (SW de España). La distribución de medias por horizonte se ajusta al concepto de suelo poco evolucionado. La variabilidad media para el conjunto de propiedades analizadas es del 60% en el horizonte superficial, disminuyendo al 31% en el horizonte más profundo. El perfil típico sintetizado es representativo de un suelo salino-sódico, con fuertes limitaciones para el uso agrícola y la mayoría de obras de ingeniería.

**SUMMARY.** — To determine the variability for certain characteristics of selected marsh soils from Sevilla (Spain), statistics including the mean, range and coefficient of variation were reported. The typical profile synthesized correspond to the concept of soil with no evidence of development of pedogenic horizons; providing strong limitations for agricultural and engineering uses. For all the characteristics, spatial variability was 60% in the shallow horizon and 31% in the deep horizon.

**RÉSUMÉ.** — On fait un analysis statistique pour déterminer la tendance central et variabilité de 24 propriétés des sols naturels des marais du Guadalquivir (Espagne). La distribution des moyennes par horizon s'arrange avec le concept de sol peu évolué. La variabilité moyenne pour l'ensemble des propriétés analysées est de 60% dans l'horizon de surface, diminuant jusqu'à 31% dans l'horizon plus profond. Le profil typique synthétisé est représentatif d'un sol salin à alcalin, avec fortes limitations pour l'utilisation agricole et la majorité des ouvrages de génie rural.

**ZUSAMMENFASSUNG.** — In der vorliegenden Arbeit wurde ein statistische Analyse, um die Zentraletendenz und Veränderlichkeit 24 chemischen Eigenschaften von natürlichen Böden des Guadalquivir Marshlandes (Spanien) festzustellen, gemacht. In jeder Horizont die Verteilung von Mittelwerten entspricht zueinen wenig entwickelten Boden. Die Mittelverränderlichkeit allen Eigenschaften ist 60% in der oberflächlichen Horizont und 31% in der tieferen Horizont. Der syntetisierte typische Profil entspricht zu einen salzalkali Boden, wenig geeignet für Landwirtschaft und die meisten Ingenieur-Bauen.

**RIASSUNTO.** — E' stata effettuata un'analisi statistica per determinare la variabilità di 24 proprietà di suoli naturali delle paludi del fiume Guadalquivir (Spagna). La distribuzione delle medie per orizzonti si adatta al concetto di suolo poco evoluto. La variabilità media, per l'insieme delle proprietà analizzate è del 60% nell'orizzonte superficiale e diminuisce fino al 31% in quello più profondo. Il profilo tipico è quello rappresentativo di un suolo salino-sodico, con importanti limitazioni che riguardano l'uso agricolo e l'ingegneria civile.